

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/005448

International filing date: 17 March 2005 (17.03.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: US
Number: 60/557063
Filing date: 29 March 2004 (29.03.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 02 June 2005 (02.06.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

10. 5. 2005

PA 1276840

THE UNITED STATES OF AMERICA

TO ALL TO WHOM THESE PRESENTS SHALL COME:

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE

United States Patent and Trademark Office

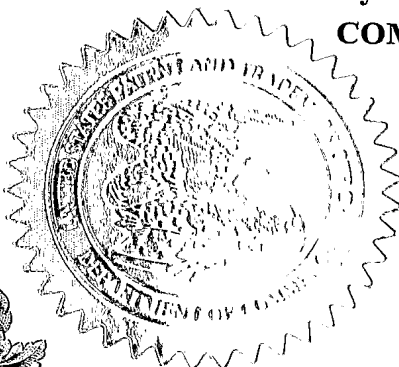
January 27, 2005

**THIS IS TO CERTIFY THAT ANNEXED HERETO IS A TRUE COPY FROM
THE RECORDS OF THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK
OFFICE OF THOSE PAPERS OF THE BELOW IDENTIFIED PATENT
APPLICATION THAT MET THE REQUIREMENTS TO BE GRANTED A
FILING DATE UNDER 35 USC 111.**

APPLICATION NUMBER: 60/557,063

FILING DATE: March 29, 2004

**By Authority of the
COMMISSIONER OF PATENTS AND TRADEMARKS**



**P. SWAIN
Certifying Officer**

PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT COVER SHEET

This is a request for filing a PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT under 37 CFR 1.53(c).

INVENTOR(S)

Given Name (first and middle [if any])	Family Name or Surname	Residence (City and either State or Foreign Country)	
Katsuki KUSUNOKI		Ichihara	Japan
Kazuhiro MITANI		Ichihara	Japan
Takashi UDAGAWA		Chichibu	Japan

☐ Additional inventors are being named on the _____ separately numbered sheet(s) attached hereto
TITLE OF THE INVENTION (500 characters max)

GROUP-III NITRIDE SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING DEVICE AND PRODUCTION METHOD THEREOF

CORRESPONDENCE ADDRESS

Direct all correspondence to the address for SUGHRUE MION, PLLC filed under the Customer Number listed below:

WASHINGTON OFFICE

23373

CUSTOMER NUMBER

ENCLOSED APPLICATION PARTS (check all that apply)

- ☒ Specification (Japanese Language) Number of Pages 19 ☐ CD(s), Number _____
☒ Drawing(s) Number of Sheets 5 ☐ Other (specify) _____
☐ Application Data Sheet. See 37 CFR 1.76

METHOD OF PAYMENT OF FILING FEES FOR THIS PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT

- ☐ Applicant claims small entity status. See 37 CFR 1.27.
☒ A check or money order is enclosed to cover the Provisional filing fees. The USPTO is directed and authorized to charge all required fees, except for the Issue Fee and the Publication Fee, to Deposit Account No. 19-4880. Please also credit any overpayments to said Deposit Account.
☐ The USPTO is hereby authorized to charge the Provisional filing fees to our Deposit Account No. 19-4880. The USPTO is directed and authorized to charge all required fees, except for the Issue Fee and the Publication Fee, to Deposit Account No. 19-4880. Please also credit any overpayments to said Deposit Account.

**FILING FEE
AMOUNT (\$)****\$160.00**

The invention was made by an agency of the United States Government or under a contract with an agency of the United States Government.

- ☒ No.
☐ Yes, the name of the U.S. Government agency and the Government contract number are: _____

Respectfully submitted,

SIGNATURE



DATE March 29, 2004

TYPED or PRINTED NAME Abraham J. Rosner

REGISTRATION NO. 33,276

TELEPHONE NO. (202) 293-7060

DOCKET NO. P80654

USE ONLY FOR FILING A PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT

【書類名】明細書

【発明の名称】Ⅲ族窒化物半導体発光素子及び製造方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、少なくとも、互いに電気伝導型が異なる2つのⅢ族窒化物半導体層と、その中間に設けられたⅢ族窒化物半導体からなる発光層とを積層した積層構造体からなるⅢ族窒化物半導体発光素子及びその製造方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来から、青色帯または緑色帯の短波長光を放射する発光ダイオード(LED)やレーザダイオード(LD)等のⅢ族窒化物半導体発光素子は、例えば、窒化ガリウム・インジウム(組成式 $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$: $0 \leq Y, Z \leq 1, Y+Z=1$)を発光層として利用して構成されている(例えば特許文献1参照)。また、発光部は、発光層の両側に、互いに電気伝導型が異なる2つのⅢ族窒化物半導体からなるクラッド層を配置して構成されている。この様な2重異種接合(ダブルヘテロ: DH)構造の発光部を構成するためのクラッド層は、例えば、窒化アルミニウム・ガリウム(組成式 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{N}$: $0 \leq X, Y \leq 1, X+Y=1$)から構成されるものとなっている。

【特許文献1】特公昭55-3834号公報

【0003】

上記の様な、発光層を、n型クラッド層とp型クラッド層との中間に挟持してなるDH構造の発光部を備えたpn接合型DH構造のⅢ族窒化物半導体発光素子を構成するための積層構造体は、従来からもっぱら、サファイア($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 単結晶)や炭化珪素(SiC)単結晶を基板として形成されている。発光層からの発光を透過できる光学的透明性を有し、且つ高温を要するⅢ族窒化物半導体層の結晶成長にも耐え得る耐熱性を有するからである。そして、従来のⅢ族窒化物半導体発光素子は、発光素子用途の積層構造体を形成するために用いた上記の様な基板を、素子化工程以後も積層構造体を機械的に支持

する板状体として残存させて作製されるのが通例である。

【0004】

しかし、例えばサファイア等の結晶からなる基板を残存させてなるⅢ族窒化物半導体発光素子は、積層構造体を機械的な支持力を維持するには適するが、電氣的に絶縁性であるが故に、フリップチップタイプに素子を加工するか、2ボンディングタイプの素子となるため、フリップチップタイプでは素子の加工が煩雑であり、また2ボンディングタイプではワイヤーボンディングなどの配線が煩雑である。このため、マウントの際の生産性が悪化するという問題点を有していた。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本発明は、上記に鑑みてなされたもので、基板の持つ機械的支持力を保持しつつ、尚且つマウントの際に生産性を良好なものとする事ができるⅢ族窒化物半導体発光素子、その製造方法、およびLEDランプを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

1) 上記目的を達成するために、第1の発明は、少なくとも、互いに電気伝導型が異なる2つのⅢ族窒化物半導体層と、その中間に設けられたⅢ族窒化物半導体からなる発光層とを積層した積層構造体からなるⅢ族窒化物半導体発光素子において、上記積層構造体を設けるために使用された結晶基板とは反対側の最表層表面に、その結晶基板とは異なる材料からなる板状体が設けられ、結晶基板は除去されている、ことを特徴としている。

【0007】

2) 第2の発明は、上記した1)項に記載の発明の構成に加えて、上記板状体は導電性材料からなる、ことを特徴としている。

【0008】

3) 第3の発明は、上記した1)項または2)項に記載の発明の構成に加えて、上記積

層構造体からの結晶基板の除去は、積層構造体と結晶基板との接合界面領域にレーザ光を照射して行われる、ことを特徴としている。

【0009】

4) 第4の発明は、上記した1) 項から3) 項の何れか1 項に記載の発明の構成に加えて、上記板状体にオーミック電極を設けた、ことを特徴としている。

【0010】

5) 第5の発明は、上記した1) 項から4) 項に記載の発明の構成に加えて、上記板状体は、上記積層構造体を設けるために使用された結晶基板とは反対側の最表層表面に金属層を介して設けられる、ことを特徴としている。

【0011】

6) 第6の発明は、上記した5) 項に記載の発明の構成に加えて、上記金属層を共晶金属膜から構成した、ことを特徴としている。

【0012】

7) 第7の発明は、上記した1) 項から6) 項に記載の発明の構成に加えて、上記板状体と上記積層構造体を設けるために使用された結晶基板とは反対側の最表層表面との間に、上記発光層からの発光を反射するための金属反射膜が備えられている、ことを特徴としている。

【0013】

8) 第8の発明は、上記した1) 項から7) 項に記載の発明の構成に加えて、上記積層構造体を設けるために使用された結晶基板がサファイア基板で、その(0001) 面上に積層構造体を設けるとともに、上記板状体を導電性の(001) - Si 単結晶体とする、ことを特徴としている。

【0014】

9) 第9の発明は、上記した8) 項に記載の発明の構成に加えて、上記板状体が、その<110>結晶方向を、(0001) - サファイア基板の[1. 1. -2. 0.] 結晶方位に平行として設けられている、ことを特徴としている。

【0015】

10) 第10の発明は、少なくとも、互いに電気伝導型が異なる2つのIII族窒化物半導体層と、その中間に設けられたIII族窒化物半導体からなる発光層とを積層した積層構造体からなるIII族窒化物半導体発光素子の製造方法において、上記積層構造体を設けるために使用された結晶基板とは反対側の積層構造体の最表層表面に、その結晶基板とは異なる材料からなる板状体を設け、上記結晶基板を除去する、ことを特徴としている。

【0016】

11) 第11の発明は、LEDランプであって、上記した1)項から9)項の何れか1項に記載のIII族窒化物半導体発光素子を備えている、ことを特徴としている。

【発明の効果】

【0017】

本発明では、積層構造体を設けるために使用された結晶基板とは反対側の最表層表面に、その結晶基板とは異なる材料からなる板状体を設け、結晶基板は除去するようにしたので、その板状体で機械的に支持するとともに、導電性の板状体の表面に一方の極性のオーミック電極を形成することで、直接マウントさせることができ、ワイヤーボンディングは他方の極性のオーミック電極のみに施せばよく、したがってマウントの際の生産性を良好なものとすることができる。

【0018】

また、本発明によれば、発光素子用途の積層構造体に、導電性のSi単結晶板を、積層構造体を構成するために用いたサファイア基板の特定の結晶方位に平行になる様に貼付してIII族窒化物半導体発光素子を構成することとしたので、大電流の順方向電流を長時間に亘り通流しても、積層構造体に熱応力に因る亀裂は発生しない。これは熱応力の低減において、反りの方向は結晶方向に沿うので、反対側に反るものと予想される反りの方向に合わせて貼ると反らないことを用いたことによる。またその良好な熱伝導性のために放熱性にも優れたものとすることができ、その結果長時間点灯しても熱ダメージが生じにくくなり、高電流を通電させたときに熱による出力低下を招かない。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

以下にこの発明の実施の形態を詳細に説明する。

【0020】

本発明のⅢ族窒化物半導体発光素子は、結晶基板上に形成された、(a) 第一の伝導型の第一のⅢ族窒化物半導体層と、(b) 第二の伝導型の第二のⅢ族窒化物半導体層と、(c) 第一及び第二のⅢ族窒化物半導体との中間に挟持したⅢ族窒化物半導体からなる発光層とを備えた発光素子用途の積層構造体から構成する。なお、第一および第二のⅢ族窒化物半導体層は、クラッド層やコンタクト層としての機能を有している。

【0021】

積層構造体を形成するための結晶基板には、サファイアや酸化リチウム・ガリウム（組成式 LiGaO_2 ）等の酸化物単結晶、3C結晶型の立方晶単結晶炭化珪素（3C-SiC）、4Hまたは6H結晶型の六方晶単結晶SiC（4H-SiC、6H-SiC）、珪素（Si）単結晶（シリコン）、燐化ガリウム（GaP）や砒化ガリウム（GaAs）等のⅢ-V族半導体単結晶等を利用できる。

【0022】

積層構造体をなす第一のⅢ族窒化物半導体層を、それとは格子整合の関係に無い結晶基板上に設ける場合、格子ミスマッチを緩和する緩衝（buffer）層を介して設ける。例えばサファイア基板上に、GaN系の第一のⅢ族窒化物半導体層を成長させるのに際し、基板表面上に、シーディングプロセス（SP）手法（特開2003-243302号公報参照）等により設けたGaN緩衝層を介して第一のⅢ族窒化物半導体層を積層する。GaNに代替してAlNから低温緩衝層を構成しても基板との格子ミスマッチを緩和するのに効果を上げられる。AlNから構成する場合、低温緩衝層の層厚は1nm以上で100nm以下の範囲、好ましくは2nm以上で50nm以下の範囲、更に好ましくは2nm以上で5nm以下の範囲とする。

【0023】

低温緩衝層の表面は、微少な凹凸があるよりは平坦な方が適する。例えば、表面粗さは、 R_a にして $0.10\mu\text{m}$ 以下、好ましくは $0.05\mu\text{m}$ 以下であるのが好適である。この様な粗さの小さい表面の低温緩衝層は、例えば $350^\circ\text{C}\sim 450^\circ\text{C}$ の低温での成長時に結晶基板との界面に単結晶層を設けることで得られる。表面粗さは例えば、原子間力顕微鏡（AFM）などの測定機器を用いて求められる。粗さの少ない平坦な表面を有する低温緩衝層は、表面の平坦性に優れる上層を積層するのに優位に作用する。例えば、粗さの小さなGaN低温緩衝層の表面上には、凹凸が無く平滑で平坦な表面の下地層を成長できる。

【0024】

緩衝層上に設けられた、表面が平坦な下地層、例えばGaN層は、表面の平坦性に優れる第一または第二の電気伝導型のIII族窒化物半導体層をもたらすのに貢献できる。此处で、第一のIII族窒化物半導体層がn型層であれば、第二のIII族窒化物半導体層は反対の電気伝導型のp型層である。表面の平坦性に優れる第一および第二のIII族窒化物半導体層をもたらすのに優位となる下地層の層厚は、GaN層の場合を例にすれば、 $0.5\mu\text{m}$ 以上で $5\mu\text{m}$ 以下であり、好ましくは $1\mu\text{m}$ 以上で $3\mu\text{m}$ 以下の範囲であるのが適切である。表面の平坦な第一または第二のIII族窒化物半導体層は、平坦性に優れる極薄膜の井戸層からなる量子井戸構造を積層するのに好都合なn型またはp型クラッド層として利用できる。また、密着性に優れる入力、出力電極を形成するために好都合なn型またはp型コンタクト層として利用できる。

【0025】

第一及び第二のIII族窒化物半導体層としては、不純物を故意に添加していないアンドープ層を利用できる。また、電気伝導型やキャリア濃度、抵抗値を制御するために不純物を故意に添加（ドーピング）したn型またはp型のIII族窒化物半導体層を利用できる。層内の原子濃度を $1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 以上で $5\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 以下となる様にn型またはp型不純物がドーピングされた第一及び第二のIII族窒化物半導体層は、例えば、順方向電圧が低く、動作上信頼性のある発光素子を得るためのクラッド層の構成に適する。クラッ

ド層とする第一または第二の III 族窒化物半導体層は、発光層の構成材料より大きな禁止帯幅の材料から構成する必要があるものの、必ずしも同一の III 族窒化物半導体材料から構成する必要はない。例えば、n 型クラッド層を n 型 $\text{Ga}_Y\text{In}_Z\text{N}$ ($0 \leq Y, Z \leq 1, Y + Z = 1$) から構成し、p 型クラッド層を p 型 $\text{Al}_X\text{Ga}_Y\text{N}$ ($0 \leq X, Y \leq 1, X + Y = 1$) から構成する例を上げられる。異なる材料の III 族窒化物半導体からなる第一または第二の電気伝導型のクラッド層を利用すれば、発光層に対し、バンド (band) 構造上、非対称型の発光部を構成できる。

【0026】

上記の原子濃度の範囲に於いて、高濃度に不純物を含み、低抵抗とした第一および第二の III 族窒化物半導体層はコンタクト層として有用である。キャリア濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上である低抵抗の III 族窒化物半導体層は、低接触抵抗のオーミック電極を形成するのに特に優位である。低抵抗の n 型 III 族窒化物半導体層を得るのに利用できる n 型不純物としては、珪素 (Si) やゲルマニウム (Ge) 等の第 IV 族、またはセレン (Se) 等の第 VI 元素がある。p 型不純物としては、マグネシウム (Mg) やベリリウム (Be) 等の第 II 族元素を使用できる。コンタクト層の層厚は、オーミック電極を構成する材料が拡散して侵入する深さ以上であるのが望ましい。合金化 (アロイング) 熱処理を施してオーミック電極を形成する場合は、所謂、アロイフロント (alloy front) の深さ以上の厚さとするのが適する。例えば、10 nm 以上とするのが適する。

【0027】

第 1 および第 2 の III 族窒化物半導体層の中間に設ける発光層は、例えば窒化ガリウム・インジウム (組成式 $\text{Ga}_Y\text{In}_Z\text{N}$: $0 \leq Y, Z \leq 1, Y + Z = 1$) から構成する。また例えば、窒化燐化ガリウム (組成式 $\text{Ga}_X\text{N}_{1-a}\text{P}_a$: $0 \leq a < 1$) 等の窒素 (N) と窒素とは別の第 V 族元素とを含む $\text{Al}_X\text{Ga}_Y\text{In}_Z\text{N}_{1-a}\text{M}_a$ ($0 \leq X, Y, Z \leq 1, X + Y + Z = 1$ 、記号 M は窒素以外の第 V 族元素を表し、 $0 \leq a < 1$ である。) から構成する。発光層は単一層 (SQW) から構成しても構わないし、或いは多重量子井戸構造 (MQW) から構成しても構わない。量子井戸構造をなす井戸層を例えば、 $\text{Ga}_Y\text{In}_Z\text{N}$ から構成する

場合にあつて、インジウム (I_n) 組成比 ($=Z$) は、所望する発光波長に鑑み調整する。より長波長の発光を期する程、インジウム組成比はより大とする。 Ga_YI_nZN を井戸層とする多重量子井戸構造の発光層の全体の層厚は、好ましくは100nm以上で500nm以下であるのが好適である。

【0028】

発光層の量子井戸構造は、第一または第二のIII族窒化物半導体層に接合する層を、障壁層または井戸層として形成できる。量子井戸構造の始端（最下底層）は障壁層または井戸層の何れであっても構わない。同じく、量子井戸構造の終端（最表層）をなすのは障壁層または井戸層の何れであっても構わない。始端層と終端層は組成が相違しても差し支えない。アンドープのため結晶性に優れる井戸層と、不純物をドーピングした障壁層とから構成した量子井戸構造は、ピエゾ (piezo) 効果に因る悪影響を回避して、強度的に優れ、且つ発光波長の安定したIII族窒化物半導体発光素子を得るのに寄与できる。井戸層および障壁層は、 Ga_YI_nZN ($0 \leq Y, Z \leq 1, Y+Z=1$) に加え、 $GaN_{1-a}P_a$ ($0 \leq a < 1$) 等の $Al_xGa_YI_nZN_{1-a}M_a$ ($0 \leq X, Y, Z \leq 1, X+Y+Z=1$ 、記号Mは窒素以外の第V族元素を表し、 $0 \leq a < 1$ である。)の薄膜から構成できる。

【0029】

積層構造体をなすIII族窒化物半導体各層は、例えば、有機金属化学的気相堆積 (MOCVD) 手段、ハイドライド (水素化物;hydride) 気相成長 (VPE) 手段、および分子線エピタキシャル (MBE) 手段等の気相成長手段に依り成長できる。量子井戸構造発光層の井戸層をなす数nmから、第一または第二のIII族窒化物半導体層に適する μm のオーダーの広い膜厚の範囲の層を得るのには、MOCVD手段やMBE手段が適する。その中で特に、窒素以外の揮発性の高い砒素 (As) や磷 (P) を含むIII族窒化物半導体層を気相成長させるのには、MOVPE手段が適する。常圧 (略大気圧) または減圧方式のMOCVD手段を利用できる。

【0030】

本発明では、発光素子用途の積層構造体を構成するために利用した結晶基板を除去して

構成するため、光学的に透明な結晶を基板とする必要は無い。むしろ、先在する基板（積層構造体を形成するために利用した結晶基板）を除去する必要があるため、湿式手法、または高周波プラズマエッチング手法等の乾式手法に依るエッチング手段、或いはレーザー（laser）照射手法等に依る手段で容易に簡便に剥離できる結晶を基板とするのが好まれる。レーザー照射手段で剥離するのに都合が良いのは、積層構造体の構成層とは顕著に相違する熱膨張率を有する結晶基板である。

【0031】

また、本発明では、積層構造体の最表層に、先在する結晶基板を除去した後、積層構造体の機械的な支持力低下を補強するために、機械的強度のある板状体を貼付して設ける。貼付する板状体として、Si単結晶板を例示できる。この他、SiC、GaP、及びGaAs各単結晶板、非晶質ガラス、金属板などが貼付できる。導電性を有する板状体は、本発明に係るIII族窒化物半導体発光素子を構成するのに有効である。良導性であれば、半導体単結晶板に拘わらず、酸化銅（CuO；銅原子と酸素原子の組成比は必ずしも1：1とは限らない。）、酸化亜鉛（ZnO；亜鉛原子と酸素原子の組成比は必ずしも1：1とは限らない。）、インジウム・錫複合酸化物（ITO）等の酸化物結晶、モリブデン（Mo）、アルミニウム（Al）等の金属の板材も貼付するのに適する。発光を反射する性能を有する金属は、貼付する板材としてより好適である。また、配線パターンが描画されたプリント基板も貼付できる。

【0032】

積層構造体と板状体との接合は、貼り付けを行う積層構造体の表面或いは板状体の積層構造体と接合する表面に予め、金属膜を被着させておくと、双方の接合をより簡易に達成できる。白金（Pt）、ニッケル（Ni）、金（Au）、ロジウム（Rh）、パラジウム（Pd）、及びモリブデン（Mo）からなる金属薄膜が双方の貼り合わせを簡易とするのに効果を奏する。例えば、珪素（Si）単結晶からなる導電性板状体とIII族窒化物半導体層とを、頑固に貼り合わせるには、特にAuやNiなどの金属薄膜が好適である。金属薄膜の膜厚としては総じて、0.1 μ m以上で2 μ m以下であるのが適する。これらの金

属膜は、貼り合わせる板状体及び積層構造体の何れか一方の表面、または双方の表面に設ける。貼り合わせ時に、例えば $1 \text{ kg/cm}^2 \sim 5 \text{ kg/cm}^2$ の外圧で加圧するか、或いは $500^\circ\text{C} \sim 1000^\circ\text{C}$ の高温に加温すると貼り合わせを容易に行うことができる。

【0033】

特に共晶金属膜を用いると、貼り合わせを簡便に行える。例えば、金・錫 ($\text{Au} \cdot \text{Sn}$) 合金、金・珪素 ($\text{Au} \cdot \text{Si}$) 合金、金・インジウム ($\text{Au} \cdot \text{In}$) 合金、及び金・ガリウム ($\text{Au} \cdot \text{Ga}$) 合金等の半田 (ハンダ) 共晶合金が利用できる。また、錫 (Sn)、白金 (Pt)、ニッケル (Ni) クロム (Cr)、銅 (Cu)、鉄 (Fe)、コバルト (Co) などを含む合金膜が使用できる。共晶合金膜を用いると、比較的低温の $300^\circ\text{C} \sim 500^\circ\text{C}$ で張り合わせを行うことができ便利である。貼り合わせ時の加熱温度を高くした場合、外部より印可する押圧は低く抑えることができる。逆に、加熱温度を低くした場合には、外圧を高めに設定する必要がある。

【0034】

金属膜を被着するのに代替して、金属の細粉を含む金属ペーストを貼り合わせに利用できる。例えば、白金 (Pt) ペースト、銀 (Ag) ・パラジウム (Pd) ペースト等を上げられる。例えば、板状体の一表面の全体にペーストを塗布した後、積層構造体の表面にそれを載置した後、加圧して貼り合わせる。その後、減圧環境内で加温しつつ貼り合わせを継続すると貼り合わせを敢行できる。ペーストを貼り合わせ材料として利用した場合、ペースト内に含まれる気泡を、例えば、減圧環境内で除去する操作を行うと、内部に空隙の少ない緻密な膜をもって貼り合わせできる。

【0035】

積層構造体と板状体とを効率的に貼り合わせるための金属膜の中間に、発光層からの発光を反射できる金属反射膜を挿入した構成とすると、発光強度に優れる III 族窒化物半導体発光素子を得るのに効果的となる。金属反射膜は例えば、イリジウム (Ir)、ロジウム (Rh) や白金 (Pt) 等の白金族の 6 金属から構成できる (「ダフィー 無機化学」、(株) 廣川書店、昭和 46 年 4 月 15 日発行、5 版、249 頁参照)。その他にも、ク

ロム (Cr)、ハフニウム (Hf)、銀 (Ag)、アルミニウム (Al) など発光層からの発光について、反射率の良い金属膜から構成できる。貼り合わせのための金属膜と金属反射膜との密着性を改善するために、両層の相互間での金属の拡散を防止するバリア (barrier) 層を設けてもよい。そのバリア層は、チタン (Ti)、タングステン (W)、タンタル (Ta)、クロム (Cr) などの高融点金属から構成できる。

【0036】

貼り合わせのための金属膜、共晶金属膜、金属反射膜、及びバリア層は、一般的な高周波スパッタリング手段、抵抗加熱真空蒸着手段や電子ビーム (EB) 真空蒸着手段に依り形成できる。また、例えば、適当な溶媒で希釈させた金属ペーストからなる金属膜は、塗布手段を介して形成できる。金属ペーストを塗布して金属膜を形成する場合、その膜厚は、塗布量や塗布時の試料の回転数を制御して調整する。

【0037】

貼付する板状体が、良導性の半導体材料であれば、板状体にオーミック電極を設けることができる。例えば、貼付する板状体を n 型または p 型の導電性 Si 単結晶板とした場合、金 (Au) 或いはアルミニウム (Al) などから簡便にオーミック電極を形成できる。予め、オーミック電極を一表面に設けた板状体を積層構造体に貼付しても構わない。また、オーミック電極は、貼付する板状体の層厚を研削して、或いはエッチングして薄くした後、その薄層化された後の表面に設けても構わない。薄層化は、後のワイヤボンディング或いはマウントに於いて、素子の倒置を防げる程度に進めるのが望ましい。一方、板状体は、その上に設けるオーミック電極から供給される素子駆動電流を平面的に十分に拡散できる厚さで残存させる。貼付する板状体が Si 単結晶板であれば、研磨或いはエッチングに依り簡便に薄層化が果たせる。Si 単結晶板は、例えば、シリカやアルミナを主体とした研磨粉を使用して研磨できる。硝酸 (HNO₃) や弗化水素酸 (HF) を使用すれば、所望の層厚となる迄、エッチングできる。

【0038】

サファイアを基板として形成した積層構造体の最表面に、Si 単結晶板を貼付して本発

明に係る III 族窒化物半導体発光素子とする場合、Si 単結晶板を、その $\langle 110 \rangle$ 結晶方向をサファイアの $[1. 1. -2. 0.]$ 結晶方向と略平行として貼付すると好都合である。互いの結晶の格子面間隔が近似するため、貼付した際に歪みの発生を抑制できるからである。III 族窒化物半導体層は、サファイア上では、サファイアの或る結晶方位に沿って配向しており、総じて、サファイアの結晶方位と III 族窒化物半導体層の配向方向は一致する。従って、Si 単結晶の $\langle 110 \rangle$ 結晶方向と、サファイア上の III 族窒化物半導体層の $[1. 1. -2. 0.]$ 結晶方向とが略平行となる様に Si 単結晶板を貼付しても同様の効果が得られる。

【0039】

積層構造体を形成するために使用した基板を除去するのには、研磨手段や剥離手段が利用できる。例えば、サファイア基板は、シリカ、アルミナ、またはダイヤモンド微粉を主体とした研磨粉を利用して研磨できる。

【0040】

積層構造体から、それを形成するのに利用した結晶基板を剥離するのには、レーザ照射手段が適する。剥離するために照射するのに適するレーザー光は、パルスレーザ光、炭酸ガス (CO_2) レーザ光、エキシマレーザ光等を利用できる。特に、励起ガスとして弗化アルゴン (ArF) や弗化クリプトン (KrF) 等を用いるエキシマレーザを用いることが好ましい。レーザ光の波長は、 193 nm 或いは 248 nm であるのが好ましい。レーザ光を照射して結晶基板を剥離する場合、結晶基板の厚さが厚いと、レーザ光が吸収され易くなり、効率的に剥離させる領域を加熱できない。従って、レーザ光を照射して積層構造体と結晶基板とを効率的に剥離させるのには、結晶基板の厚さは $300\text{ }\mu\text{m}$ 以下としておくのが適当である。また、結晶基板の表面に凹凸、細かな傷などがあった場合にはレーザ光の吸収がかわり、剥離にむらが起き易い。

【0041】

以上述べたように、本発明の実施形態では、積層構造体を設けるために使用された結晶基板とは反対側の最表層表面に、その結晶基板とは異なる材料からなる板状体を設け、結

晶基板は除去するようにしたので、その板状体で機械的に支持するとともに、導電性の板状体の表面に一方の極性のオーミック電極を形成することで、直接マウントさせることができ、ワイヤーボンディングは他方の極性のオーミック電極のみに施せばよく、したがってマウントの際の生産性を良好なものとすることができる。

【0042】

また、発光素子用途の積層構造体に、導電性のSi単結晶板を、積層構造体を構成するために用いたサファイア基板の特定の結晶方位に平行になる様に貼付してIII族窒化物半導体発光素子を構成することとしたので、大電流の順方向電流を長時間に亘り通流しても、積層構造体に熱応力に因る亀裂は発生せず、またその良好な熱伝導性のために放熱性にも優れたものとすることができる。

【0043】

なお上記の説明では、積層構造体を形成するために利用した結晶基板を完全に除去するようにしたが、この結晶基板は必ずしも完全に除去する必要はなく、厚さを薄くする程度に止めても良い。

【0044】

積層構造体を形成するために利用した結晶基板の厚さを薄くすることにより、結晶基板から透過する光が吸収されるのを低減することができ、外部への発光の取り出し効率に優れ、且つ、静電耐圧に優れるIII族窒化物半導体発光素子を得ることができるようになる。そのためには、光学的に透明で、且つn型またはp型の導電性単結晶を基板とするのが好適である。残存させる結晶基板は、積層構造体を機械的に支持する作用とともに、発光層からの発光を外部へ透過する作用を併せ持っている。残存させる結晶基板の厚さをより薄くすれば、発光の透過率は増加し、外部への発光の取り出し効率に優れるIII族窒化物半導体発光素子を得るのに優位とはなる。一方で、薄層化に伴い、結晶基板の積層構造体を支持する作用は低減される。従って、双方の兼ね合いから、残存させる結晶基板の厚さは30 μ m～300 μ mが適当である。

【実施例】

【0045】

板状体として、導電性のSi単結晶板を積層構造体の最表層に貼付して、III族窒化物半導体発光素子を構成する場合を例にして、本発明の内容を説明する。

【0046】

図1はサファイア基板上に形成した積層構造体の断面構造を模式的に示す図、図2は板状体側の構成を示す図、図3は図1の積層構造体からチップ化して作成した本発明に係るLEDの断面構造を模式的に示す図、図4はLEDの平面図、図5はLEDをマウントして構成したLEDランプを示す断面図である。

【0047】

先ず図1に示すように、厚さを約 $350\mu\text{m}$ とする電気絶縁性のサファイア基板100の(0001)結晶面上に、シーディングプロセス(SP)手段を用いて、窒化アルミニウム(AIN)層101を、一般的な減圧MOCVD法により 900°C で形成した。AIN層101の層厚は 5nm とした。AIN層101上には、 1050°C で層厚を 18nm とする窒化ガリウム(GaN)からなる緩衝層102を形成した。

【0048】

GaN緩衝層102上には、珪素(Si)を層内の原子濃度が $1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ となる様に、アルミニウム組成比を0.01とするn型窒化アルミニウム・ガリウム混晶($\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$)からなるn型のコンタクト層103を形成した。コンタクト層103は、一般的な減圧MOCVD法に依り、 1050°C で成長させた。n型コンタクト層103の層厚は約 $2.5\mu\text{m}$ とした。

【0049】

n型 $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ コンタクト層103上には、n型 $\text{Al}_{0.10}\text{Ga}_{0.90}\text{N}$ からなるn型クラッド層104を積層した。n型クラッド層104は、Siを、層内の原子濃度が $1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ となる様にドーピングして形成した。一般的な減圧MOCVD法で成長させたn型クラッド層104の層厚は、約 $0.5\mu\text{m}$ とした。

【0050】

上記の n 型 $\text{Al}_{0.10}\text{Ga}_{0.90}\text{N}$ クラッド層104上には、 n 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{N}$ からなる障壁層と、 n 型 $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ からなる井戸層とから構成した多重量子井戸構造の n 型発光層105を積層した。井戸層のインジウム(In)組成比(=Z)は、上記の量子井戸構造から波長を360nmから370nmとする紫外光が放射される様に調整した。井戸層の層厚は約5nmとし、障壁層の層厚は15nmとして、量子井戸構造を構成した。

【0051】

多重量子井戸構造の発光層105上には、 p 型不純物のMgを故意に添加した(ドーピング)した、2.5nmの層厚の p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{N}$ クラッド層106を形成した。アルミニウム組成比(=X_p)は約0.10(=10%)とした。Mgは、同層106内で原子濃度が約 5×10^{18} となる様にドーピングした。 p 型クラッド層106上には、MgをドーピングしたAl組成比がより小さい $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{N}$ ($X_1 > X_2 \geq 0$)からなる p 型コンタクト層107を形成した。コンタクト層107の内部のMgの原子濃度は、約 $2 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ とした。

【0052】

p 型コンタクト層107の表面には、 p 型オーミック電極膜108として、白金(Pt)の薄膜を一般的な高周波スパッタリング手段に依り形成した。 p 型オーミック電極膜108上には、前記の多重量子井戸構造の発光層105からの発光を、結晶基板100側へ反射させるため金属反射膜109を設けた。金属反射膜109は、ロジウム(Rh)被膜から構成した。

【0053】

次に、積層構造体11を機械的に支持していたサファイア基板100の裏面を研削した。サファイア基板100の裏面は、平均粒径が0.5 μm の酸化珪素細粒を含むコロイダル状シリカを用いて、130 μm ~150 μm の厚さに亘り研磨した。この研磨により、サファイア基板100の厚さを、 $210 \pm 10 \mu\text{m}$ と薄くした。

【0054】

サファイア基板100の研磨後、金属反射膜109の上に p 型導電性の面方位を(10

0) とする Si 単結晶板 111 を接合させるための接合用の金ゲルマニウム (AuGe) 共晶膜 110 を形成した (図 2)。続いて厚さ約 $350\mu\text{m}$ の p 型 (100) - Si 単結晶板 111 と、積層構造体側に設けた AuGe 膜 110 とを、約 500°C に加熱しつつ貼り合わせた。この際、(100) - Si 単結晶板 111 の $\langle 110 \rangle$ 結晶方向を、(0001) - サファイア基板 100 の $[1, 1, -2, 0]$ 結晶方向に略一致させて貼付した。これにより、貼付した Si 単結晶板 111 を利用して、積層構造体 11 を機械的に支持した。

【0055】

然る後、上記の如く研磨して層厚を薄くしたサファイア基板 100 の裏面 (積層構造体を形成した表面とは反対側の基板表面) から、サファイア基板 100 と AlN 緩衝層 101 および GaN 緩衝層 102 との接合界面に焦点を合わせて、波長を 248nm とするエキシマレーザ光を照射した。これにより、基板 100 のサファイアと積層構造体 11 との熱膨張係数に差異があることを利用して、AlN 層 101 及び GaN 緩衝層 102 の部分から、積層構造体 11 から、薄層化したサファイア基板 100 を剥離した。

【0056】

次に、Si 単結晶板 111 の表面を、平均粒径を約 $0.5\mu\text{m}$ とする酸化珪素細粒を含むコロイダル状シリカを用いて研磨した。平坦な鏡面に研磨した後、金 (Au) 膜からなる p 型オーミック電極 112 を、研磨により厚さ $70\mu\text{m}$ へと減じた p 型 Si 単結晶板 111 の表面の全面に一旦、形成した (図 2)。

【0057】

然る後、公知のフォトリソグラフィ技術を応用して、n 型オーミック電極 113 を設ける予定の領域に限定して、n 型コンタクト層 103 の表面を露出させるために、フォトレジスト材料に選択パターニングを施した。次に、一般的な高周波プラズマエッチング手段を利用して、チップ形状の隅部のパターニングされた領域に限り、選択的にエッチングを及ぼし、n 型コンタクト層 103 の隅部の表面を露出させた。

【0058】

露出させたn型コンタクト層103の隅部の表面には、一般的な真空蒸着手段及び電子ビーム蒸着手段を併用して、n型コンタクト層103に接触する側をクロム（Cr）とするCr/チタン（Ti）/金（Au）の3金属層の重層構造からなるn型オーミック電極113を形成した（図3）。

【0059】

次に、一般的なレーザースクライブ法により、素子分割用の割り溝をSi単結晶板111側に設けた。その後、この溝に対し、一般的なブレーカーを利用して機械的圧力を加え、一辺の長さを約350 μ mとする平面視略正方形の個別のIII族窒化物半導体発光素子（チップ）12に分離した。これにより、サファイア基板100を削除して、積層構造体11に貼付した板状体（Si単結晶板）111に積層構造体11の機械的支持を担わせた、pn接合型DH構造のIII族窒化物半導体LED12（図3、図4）を作製した。

【0060】

続いて、積層構造体11に貼付した板状体111の表面に設けたp型オーミック電極112を、リードフレーム21上に導電性ペーストを用いてマウントした。サファイア基板100を剥離して、露出させたn型コンタクト層103に設けたn型オーミック電極113には導線（ワイヤー）をボンディングして、両オーミック電極112、113間に素子駆動電流を通流できる回路構成とした。上記した様に、n型オーミック電極113の表面を金（Au）膜としてあるため、簡易にボンディングができた。その後、紫外線に因る劣化を防止するための防止剤を含ませた半導体封止用途のエポキシ樹脂22で封止し、発光ダイオード（LED）ランプ10を完成させた。

【0061】

LED12は、貼付した板状体111の広い表面を利用して、その全面に亘って、大面積の一方の極性（本実施例ではp型である）のオーミック電極112を設けたため、素子駆動電流を発光層105の広範囲な領域に平面的に拡散できるLEDとなった。この素子駆動電流の拡散が果たせたため、発光領域が拡張され、発光出力の強いLEDとなった。素子駆動電流を20mA流してLED12を発光させたとき、発光出力は、波長を約37

0 nmの紫外線光について約6ミリワット (mW) に達した。また、順方向電流を20ミリアンペア (mA) とした際の順方向電圧 (V_f) は約3.4 Vと低値であった。

【0062】

また、LED12は、板状体111として、良導性であり且つ熱伝導性の良好なSi単結晶板を利用して構成したため、発光素子チップの放熱性も改善された。このため、特に、順方向電流を50mA以上の高電流とした場合でも、発光波長及び順方向電圧等の発光特性の経時変化は殆ど認められなかった。また、Si単結晶板111を、サファイア基板100の特定の結晶方位に沿って貼付したため、50mAの大電流を順方向に72時間の長時間に亘り、継続して通流しても、積層構造体には熱応力に因る亀裂は一切、発生しなかった。

【0063】

上記構成からなるLED12では、積層構造体11に貼付された導電性の板状体111に設けた板状のp型オーミック電極112を直接、上記の様な回路に導通されるため、ワイヤーボンディングはn型オーミック電極113についてのみで済むこととなるため、生産性良くLEDランプ10を作成することができた。また、このランプ10は、電気絶縁性のサファイア基板を完全に剥離した形成されているために、放電性が良く静電耐圧に優れたランプを形成できた。

【図面の簡単な説明】

【0064】

【図1】 サファイア基板上に形成した積層構造体の断面構造を模式的に示す図である。

【図2】 板状体側の構成を示す図である。

【図3】 図1の積層構造体からチップ化して作成した本発明に係るLEDの断面構造を模式的に示す図である。

【図4】 LEDの平面図である。

【図5】 LEDをマウントして構成したLEDランプを示す断面図である

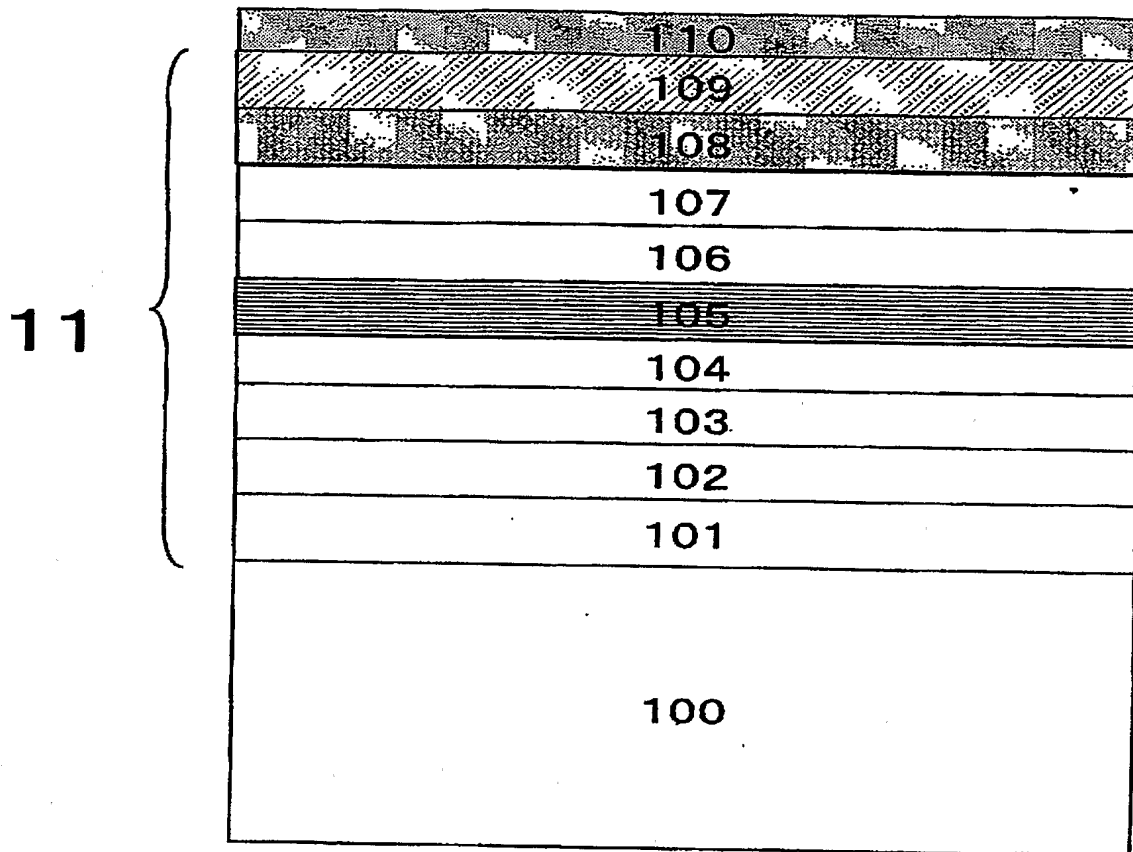
【符号の説明】

【0065】

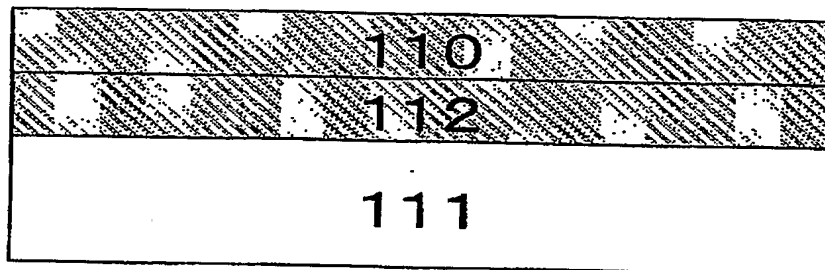
- 10 LEDランプ
- 11 積層構造体
- 12 LED
- 100 サファイア基板
- 101 AlN層
- 102 GaN緩衝層
- 103 GaNコンタクト層
- 104 n型クラッド層
- 105 量子井戸構造発光層
- 106 p型クラッド層
- 107 p型コンタクト層
- 108 p型オーミック電極
- 109 金属反射膜
- 110 共晶膜
- 111 板状体
- 112 p型オーミック電極
- 113 n型オーミック電極
- 22 エポキシ樹脂

【書類名】 図面

【図1】

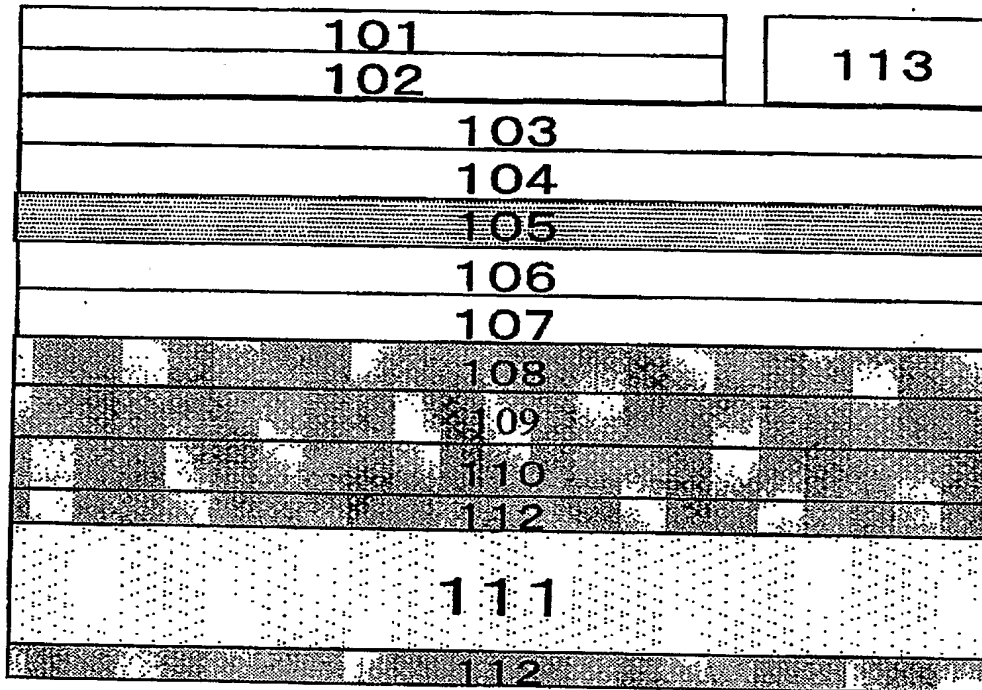


【図 2】

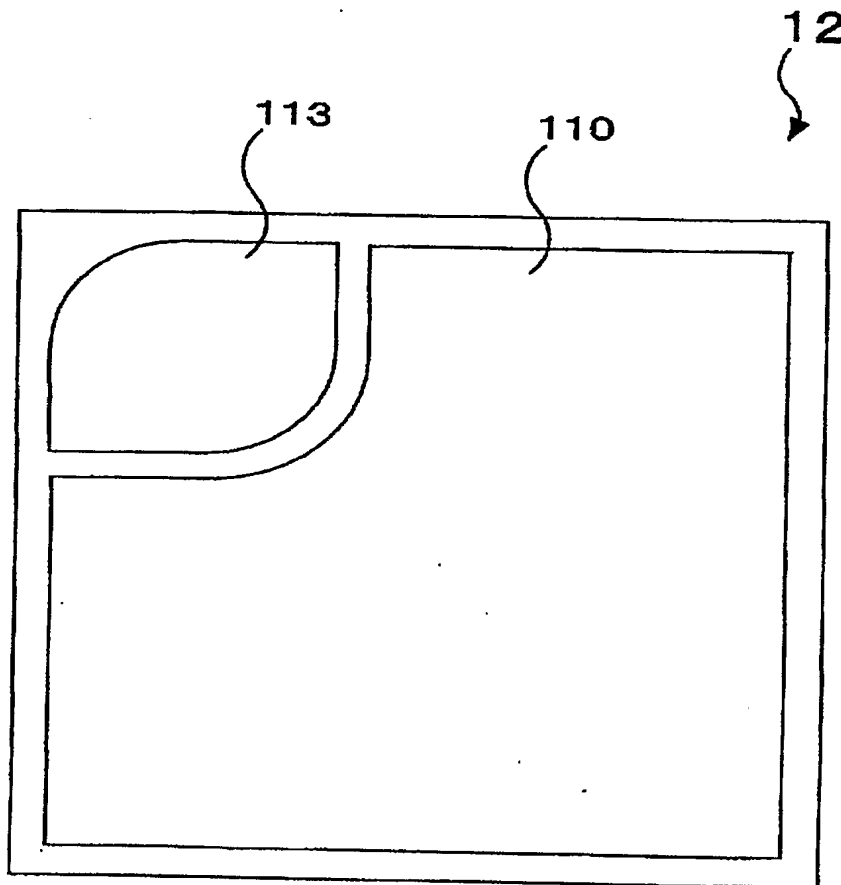


【図 3】

12

【図4】



【図5】

